

Una aproximación a la modelización del Drenaje Dual Urbano mediante EPA SWMM 5.0

Rodrigo Concha Jopia

*Ingeniero Civil; Académico, Departamento de Ingeniería en Obras Civiles,
Universidad de La Frontera, Temuco, Chile*

rodrigo.concha@upc.edu

Manuel Gómez Valentín

*Ingeniero de Caminos; Catedrático, Grupo de Investigación FLUMEN,
Universitat Politècnica de Catalunya*

manuel.gomez@upc.edu

1 Introducción

Cuando llueve sobre el medio urbano, las calles se transforman en la red primaria de transporte de la escorrentía. A través del sistema de captación dispuesto en ellas, compuesto de rejillas, sumideros, e imbornales, parte de esta escorrentía ingresa a la red de alcantarillado, teniendo así dos redes hidráulicas paralelas que transportan aguas pluviales al mismo instante. Si la capacidad hidráulica de la red de alcantarillado no es suficiente, aquel volumen que los colectores no pueden transportar podría salir hacia la calle, a través de los pozos de registro y del sistema de captación, produciéndose inundación en la superficie. El estudio y análisis del comportamiento hidráulico de la red superficial de drenaje (calles) y de la red soterrada (alcantarillado), y la interacción entre ambas a través del intercambio de flujos se conoce como Drenaje Dual Urbano, y es un interesante punto de vista dentro de la investigación en drenaje urbano, pues considera la modelización simultánea de las dos redes hidráulicas interconectadas dinámicamente entre sí. En este trabajo se presenta una metodología para modelizar el drenaje dual urbano usando el código de cálculo EPA SWMM 5.0. Esta metodología se focaliza en representar de forma acoplada la calle y el colector que subyace bajo ella. Al mismo tiempo, se consideran los elementos (rejillas de captación, sumideros, imbornales, pozos) donde se produce el intercambio de flujo bidireccional, representados por objetos reguladores de flujo de EPA SWMM 5.0. Esta metodología se aplica a un caso particular, donde se realiza una comparación con la aproximación tradicional que presenta EPA SWMM 5.0 para considerar el flujo en superficie.

2 Metodología

En general, se puede decir que un sistema de drenaje dual urbano está formado por tres sistemas: un sistema superficial de transporte de la escorrentía (sistema mayor), un sistema soterrado de transporte del flujo pluvial (sistema menor), y un sistema de captación de la escorrentía superficial. El sistema superficial hidráulico está compuesto en el común de los casos por las calles, las cuales son los elementos primarios de transporte de la escorrentía superficial. La propagación del flujo en éstas se puede realizar utilizando una aproximación unidimensional (1D) ó bidimensional (2D) de flujo no permanente en lámina libre. Si el flujo en la calle permanece confinado por los bordillos, una aproximación 1D parece ser la mejor opción, pues el coste computacional es mucho menor en relación a una aproximación 2D (Leandro et al., 2009). Por otro lado, la red de colectores está compuesta de conductos cerrados y de los respectivos pozos de registro. Es una práctica común considerar la propagación del flujo en colectores como 1D no permanente en lámina libre, aunque en ciertas situaciones el flujo en colectores podría estar en presión. Cuando ocurre una condición como ésta, el flujo podría salir hacia la calle a través de los pozos produciendo inundación superficial. El sistema de captación superficial de la escorrentía está compuesto de las rejillas, sumideros e imbornales que existen en la superficie del medio urbano, y tienen por objetivo captar la escorrentía superficial e introducirla en la red de colectores en los puntos previstos para ello (Gómez, 2006). Sin embargo, parte del flujo que circula por la red de colectores podría

salir hacia la calle a través de los imbornales o sumideros cuando la red de alcantarillado entra en carga. Así, el sistema de captación tiene un rol importante dentro de un sistema de drenaje dual urbano pues es donde se producen las transferencias de flujo bidireccional, el cual puede ser modelado utilizando ecuaciones tipo aliviadero u orificio, de tal forma de asegurar una restricción al flujo entre la red superficial y la red de colectores, en ambos sentidos.

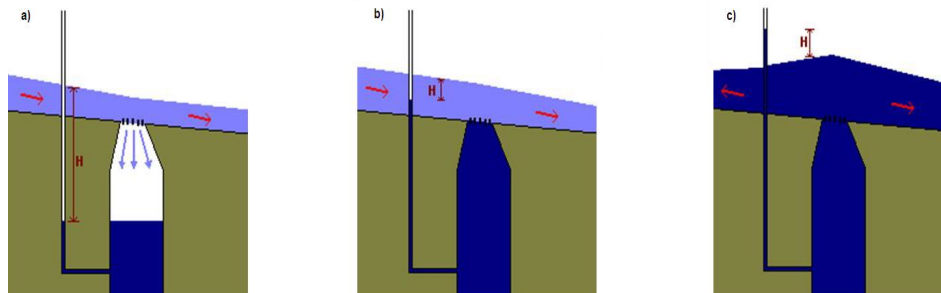


Figura 1 Casos básicos de flujo a través de un sumidero: a) descarga libre hacia el colector, b) descarga de flujo sumergido hacia el colector, y c) descarga desde el colector hacia la superficie

La dirección del flujo en los elementos de captación viene condicionada por la relación entre los niveles piezométricos que se tenga en la calle y en el colector, en el punto donde se encuentra el imbornal o sumidero, tal como muestra la figura 1. Así, cuando el nivel de la lámina de agua en el colector está por debajo del nivel de la calle, el nivel piezométrico del colector no influye en la eficiencia de captación del sumidero, y el flujo va desde la calle hacia el colector en descarga libre (figura 1a). Si el nivel piezométrico aumenta en el colector de tal manera que éste se encuentre por sobre el nivel de la calle, pero por debajo del nivel de la lámina de agua del flujo en la calle, la reja sigue captando flujo hacia el colector pero condicionada por el nivel piezométrico del colector (figura 1b). Finalmente, si en el punto donde se encuentra la reja de captación el nivel piezométrico del colector está por sobre el nivel de la lámina de agua en la calle, entonces el flujo va desde el colector hacia la superficie (ver figura 1c).

2.1 EPA SWMM 5.0

El código de cálculo EPA SWMM 5.0, desarrollado por la Agencia de Protección del Medioambiente de los Estados Unidos, es un modelo numérico que permite simular el comportamiento hidrológico e hidráulico de un sistema de drenaje urbano, tanto en términos de cantidad de la escorrentía como en términos de calidad de la misma (Rossman, 2006). La más reciente versión de EPA SWMM es la número 5.0, y entre sus novedades destaca la interfaz gráfica tipo Windows, y la incorporación de diversos objetos que permiten al usuario realizar las simulaciones numéricas del sistema de drenaje en estudio.

La componente hidrológica de EPA SWMM 5.0 utiliza un modelo agregado de depósito no lineal para calcular los hidrogramas de escorrentía superficial que se generan en la cuenca urbana debido a la precipitación. Este modelo de depósito no lineal considera también los procesos de infiltración, evaporación y almacenamiento en superficie, y es aplicado tanto a zonas impermeables como a zonas permeables de la cuenca en estudio. Cada subcuenca es modelada utilizando objetos denominados *subcatchments*. Por otro lado, en términos hidráulicos, EPA SWMM 5.0 puede propagar los caudales que ingresan en la red de drenaje mediante la resolución de las ecuaciones del flujo en lámina libre no permanente unidimensional (ecuaciones de Saint Venant), utilizando un esquema numérico de diferencias finitas de tipo explícito (Rossman, 2006). Este esquema numérico es aplicado utilizando la representación nodo-conector de una red de drenaje.

Con EPA SWMM 5.0 es posible modelar redes de conductos cerrados y de sección abierta, donde se tengan flujos en lámina libre o donde se produzca la entrada en carga en los conductos cerrados, además de simular la condición de salida de flujo hacia la superficie a través de los nodos del sistema, llamada *flooding*. También es posible modelar elementos especiales de una red de drenaje tales como vertederos, orificios y bombas, utilizando los objetos reguladores de flujo que incorpora EPA SWMM 5.0: *weirs*, *orifices* y *pumps*, respectivamente. Además, EPA SWMM 5.0 incorpora un nuevo tipo de objeto regulador llamado *outlet*, el cual representa una función de transferencia de caudal que depende del calado aguas arriba o de la diferencia de carga entre los extremos aguas arriba y aguas abajo de este objeto. Todos los objetos reguladores consideran la opción de

activar una *flap gate*, que es una especie de válvula de clapeta, cuya función es impedir la inversión del flujo en dicho elemento.

Al igual que otros programas de cálculo utilizados en el análisis de cuencas urbanas, EPA SWMM 5.0 considera la situación de inundación superficial (*flooding*) de dos maneras diferentes: asumiendo que el flujo que se escapa por los nodos se pierde del esquema de red y no vuelve a incorporarse a éste, o asumiendo que el flujo que sale a través de los nodos se almacena temporalmente sobre éstos dentro de un volumen virtual, hasta cuando vuelvan a tener capacidad suficiente los conductos adyacentes a estos nodos, situación en la cual estos volúmenes almacenados vuelven a introducirse a la red. Esta última opción de modelización de la inundación en superficie, caracterizada por el almacenamiento temporal, se conoce como *surface ponding* y ésta ocurrirá siempre que la cota de la lámina de agua en un nodo sea mayor que la cota de superficie definido en ese nodo, estando activa la opción de *surface ponding* en EPA SWMM 5.0.

2.2 Modelización del drenaje dual urbano con EPA SWMM 5.0

Es posible realizar una aproximación a la modelización del drenaje dual utilizando EPA SWMM 5.0, considerando en el esquema de red las calles y colectores conectados entre sí a través del sistema de captación y los pozos de registro. Las calles son representadas como una red de conductos de sección abierta, donde la sección transversal de cada conducto puede estar definida por todo el ancho de la calle o por la sección de la cuneta. A menudo las cunetas se encuentran en ambos lados de la calle, de acuerdo a la pendiente transversal de la calle, y en éstas se encuentran las rejillas de captación, las cuales suelen ir conectadas al mismo eje colector. Esta situación es la que se propone en esta metodología, donde dos canales paralelos conectados al colector son necesarios para modelar la calle, tal como se muestra en la figura 2. Los nodos correspondientes a la calle se deben situar en puntos donde existan cambios en la pendiente longitudinal, cambios en la geometría transversal de las cunetas, y donde se tengan estructuras de captación de la escorrentía. Cada par de nodos situados de forma consecutiva en uno de los canales de la red superficial definirá la longitud de cada objeto de conducto, el cual representa un tramo de cuneta en EPA SWMM 5.0.

La red de alcantarillado es modelada con objetos tipo conductos cerrados y con nodos. Los nodos de esta red deberían situarse donde existan cambios de pendiente longitudinal del colector, cambios en la sección transversal de éste, incorporación de las estructuras de captación y donde existan pozos de registro. Estos nodos deben considerarse con una altura máxima (*maximum depth* en EPA SWMM 5.0) suficiente de tal forma que no se pierda flujo a través de éstos cuando los conductos entran en carga.

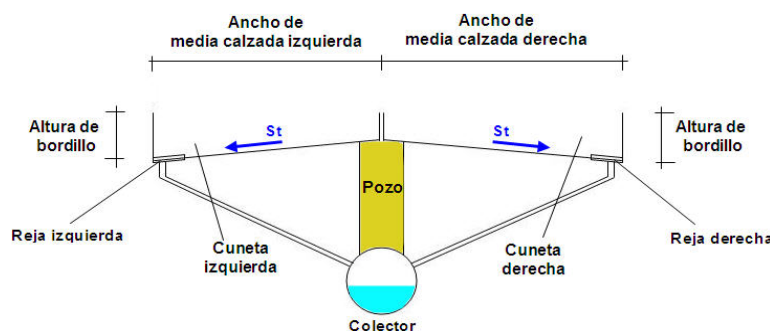


Figura 2 Consideración de dos canales superficiales paralelos, ambos de pendiente transversal de fondo St , conectados al mismo eje colector (vista transversal de la calle y del colector)

Respecto a la aportación de escorrentía superficial, las subcuencas aportantes son pequeñas, llegando a considerar porciones de aceras y calzadas, pues el nivel de escala requerido para realizar una modelación del drenaje dual es muy de detalle. Podrían incluirse en el esquema de drenaje dual los tejados de las edificaciones dependiendo si éstos están conectados directamente a la red de alcantarillado o descargan directamente a las aceras o a las calzadas.

La modelización de las rejillas de captación y de los pozos de registro es fundamental en un esquema de drenaje dual urbano pues son estos los elementos que conectan la red mayor y la red menor. Cada uno de estos elementos hidráulicos es especificado a continuación.

2.2.1 Pozos de registro

El flujo que sale a la calle a través de los pozos de registro se puede representar mediante objetos reguladores tipo orificio o vertedero. Ambos objetos reguladores requieren de un nodo en cada extremo, y de un coeficiente de descarga. En el caso de utilizar un orificio, la forma del orificio sería circular y el diámetro del orificio sería igual al diámetro del pozo. Si se opta por un vertedero, la longitud de vertido se puede considerar igual al perímetro superficial del pozo. Independientemente del tipo de objeto, se debe orientar éste desde el nodo del colector (como nodo aguas arriba del objeto) hacia el nodo de cada cuneta (como nodo aguas abajo del objeto) y activar la opción de *flap gate*; de esta forma, se está considerando que el flujo a través del pozo de registro puede únicamente ir desde el nodo del colector hacia los nodos de las cunetas respectivas, tal como muestra la figura 3.

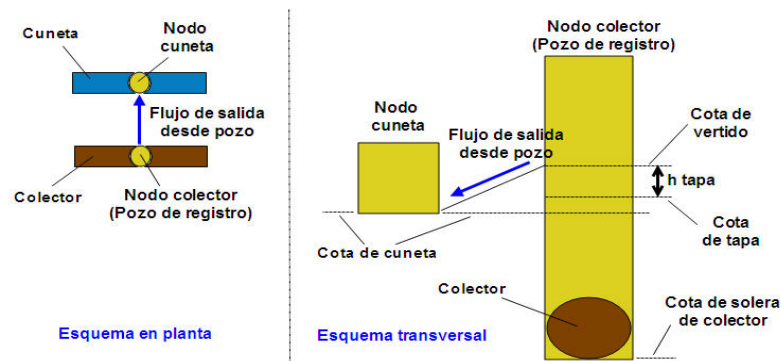


Figura 3 Esquema de la salida de flujo hacia una cuneta, a través de un pozo de registro

Otro aspecto importante está relacionado con definir la cota de vertido del objeto regulador (ver figura 3). Esta cota, además de considerar el desnivel existente entre ambos nodos, debería incluir la oposición que la tapa rígida de los pozos de registro realiza sobre el flujo que intenta salir por el pozo. Esta oposición se puede aproximar considerando una altura extra sobre la cota de tapa del pozo, de acuerdo a la siguiente ecuación (Djordjević et al., 2004):

$$h_{tapa} = e \cdot \frac{\rho_{tapa}}{\rho_{agua}} \quad (1)$$

donde h_{tapa} es la altura extra sobre el desnivel geométrico, e es el espesor de la tapa rígida, ρ_{tapa} es la densidad del material de la tapa, y ρ_{agua} es la densidad del agua.

2.2.2 Rejas de captación: conexión simple

En una primera instancia, se podría representar el flujo bidireccional en una reja de captación utilizando un objeto tipo vertedero u orificio. Sin embargo, en diversos trabajos (Djordjević et al., 2004; Leandro et al., 2009) no se considera caracterizar el flujo de entrada a la red de alcantarillado utilizando ecuaciones tipo orificio, pues éstas describen mejor la condición de flujo en carga a través del orificio; así, en esta metodología se utilizará un objeto vertedero para representar el flujo bidireccional. En este caso, se requiere de un coeficiente de descarga, el cual es difícil de estimar si no se dispone de datos experimentales respecto al comportamiento hidráulico de las rejas bajo condiciones de flujo bidireccional; de una longitud de vertido, la cual se puede aproximar como la suma del largo y el ancho de la reja; de un nodo en cada extremo del vertedero, orientando el vertedero desde el nodo de la cuneta, donde se ubica la reja, hacia el nodo del colector (ver figura 4). Es importante destacar que en este caso la opción de *flap gate* debe estar desactivada, para permitir que el flujo cambie de dirección en función de los niveles piezométricos de los nodos extremos del objeto.

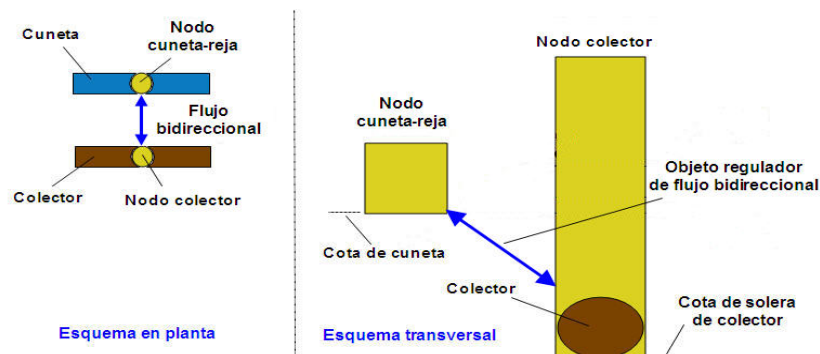


Figura 4 Esquema de una reja representada con conexión simple

2.2.3 Rejas de captación: conexión doble

Otra posibilidad de modelación es utilizar dos objetos reguladores para representar el intercambio de flujo bidireccional en las rejas, de tal forma de realizar una mejor representación del intercambio de flujo. En este caso ambos objetos reguladores deben tener sus nodos en común en sus extremos (ver figura 5) y la opción de *flap gate* activada. El objeto que representa la entrada de flujo debe estar orientado desde el nodo de la cuneta hacia el nodo del colector. Si se opta por un objeto tipo vertedero, las características de éste descritas para el caso de conexión simple se pueden aplicar; en caso de un objeto tipo *outlet* se requiere de una tabla de valores de caudal captado por la reja v/s calado aguas arriba de ella, o caudal captado v/s diferencia de nivel piezométrico entre la reja y el colector. Por otro lado, el objeto que representa la salida de flujo debe estar definido desde el nodo del colector hacia el nodo de la cuneta y su cota de desagüe debe ser igual al desnivel geométrico existente entre la reja y la solera del colector, en el punto de conexión. En caso del objeto tipo vertedero, la longitud de vertido se puede aproximar tal como se describió para el caso conexión simple; para el objeto tipo orificio, se puede definir la sección como rectangular (caso típico de rejas rectangulares), donde la altura del orificio se puede considerar igual a la altura del bordillo de la acera y el ancho del orificio igual al área total de huecos de la reja dividida por la altura del orificio. Ambos objetos requieren sus respectivos coeficientes de descarga. Para el caso del objeto tipo *outlet*, la salida se podría caracterizar utilizando una tabla del estilo antes descrita para el caso de entrada de flujo, pero con los valores de los datos correspondientes al caso de la salida de flujo hacia la calle.

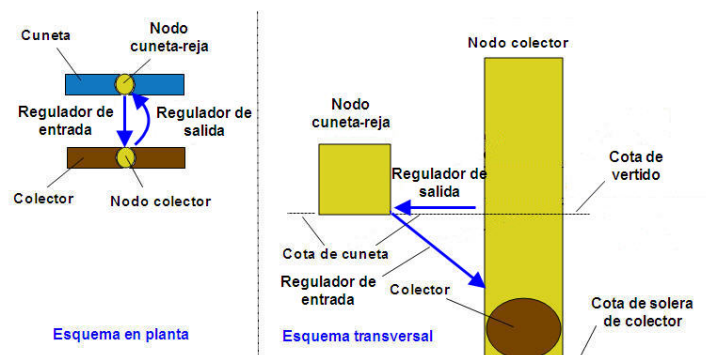


Figura 5 Esquema de una reja representada con conexión doble

3 Caso de estudio

El caso de estudio consiste en comparar dos enfoques para simular el flujo dual urbano: el primero, llamado enfoque tradicional, que considera la posibilidad de simular la inundación superficial usando volúmenes ficticios sobre los pozos, tal cual lo ofrece EPA SWMM 5.0, y el segundo, llamado enfoque dual, de acuerdo a la metodología descrita en el punto 2.2. Ambos enfoques se aplican a un escenario particular, el cual trata de un tramo de calle de 300 m de longitud, con una pendiente longitudinal constante. Este tramo de calle posee un sistema de rejillas de captación (R1, R2 y R3 en la figura 6) dispuestas en ambas cunetas, donde el tipo de reja corresponde a la llamada R-121, con dimensiones de 78 cm de longitud y 36.4 cm de ancho, y un área total de huecos de 1214 cm² (Gómez, M., 2006). La escorrentía que captan las rejillas es introducida en un colector, coincidente con el eje central de la calzada, de sección circular y diámetro de 0.5 m. Este colector posee tres pozos de registro (P1, P2 y P3) dispuestos tal como se muestra en la figura 6. La precipitación utilizada en ambos enfoques corresponde a la lluvia de diseño de periodo de retorno 10 años, con duración de 1 hora, de acuerdo a las curvas IDF del observatorio de Barcelona-Fabra, y se ha incluido un hidrograma de entrada en el extremo aguas arriba del colector. En las simulaciones realizadas se ha utilizado la actualización 5.0.015 de EPA SWMM 5.0, con un tiempo de simulación de 3 horas y considerando la aportación de las aceras y calzada como únicos elementos de generación de la escorrentía.

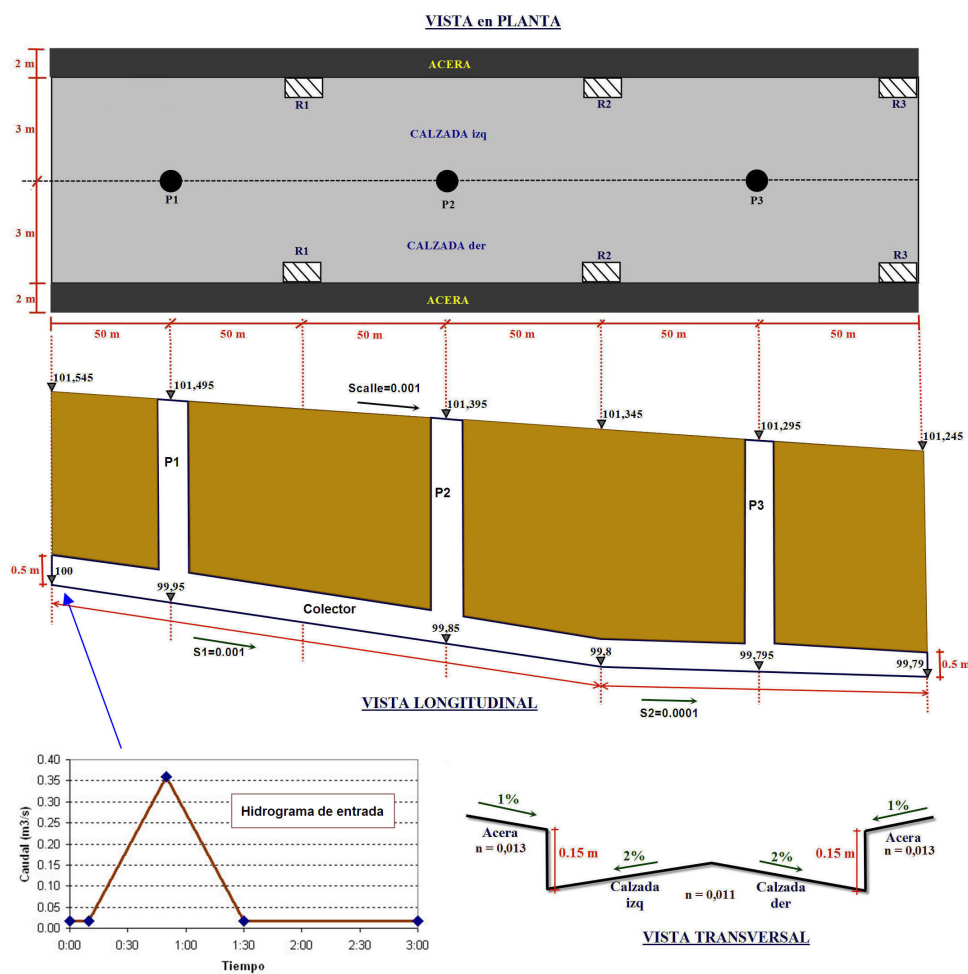


Figura 6 Vistas longitudinal, en planta y transversal del ejemplo a desarrollar

En el enfoque tradicional se considera que cada reja define un límite hidrológico; es decir, que toda la escorrentía superficial que se genere aguas arriba de una reja entra directamente al colector a través de ella. Así, se ha discretizado la cuenca en porciones de acera y media calzada, como áreas totalmente impermeables y directamente conectadas al colector a través de los nodos-rejas, tal como se observa en el esquema de EPA SWMM 5.0 de la figura 7. En términos hidráulicos, en este enfoque sólo se modela el colector. Los nodos que representan a las rejillas sólo actúan como nodos donde se incorpora la escorrentía, mientras que los nodos que

representan a los pozos son considerados como puntos por donde el flujo puede escapar hacia la superficie, por lo que la altura máxima de cada nodo-pozo viene dado por el desnivel geométrico entre la cota de solera del pozo y la cota de tapa, más una altura extra de 0.4 m que representa el efecto de la tapa rígida de acero (de espesor de 5 cm), de acuerdo a la ecuación 4. Para considerar la opción de *surface ponding* en los nodos-pozos, se ha definido un área superficial de 600 m² (100 de longitud por 6 de ancho de calzada) correspondiente al área de influencia de cada pozo (ver figura 7).

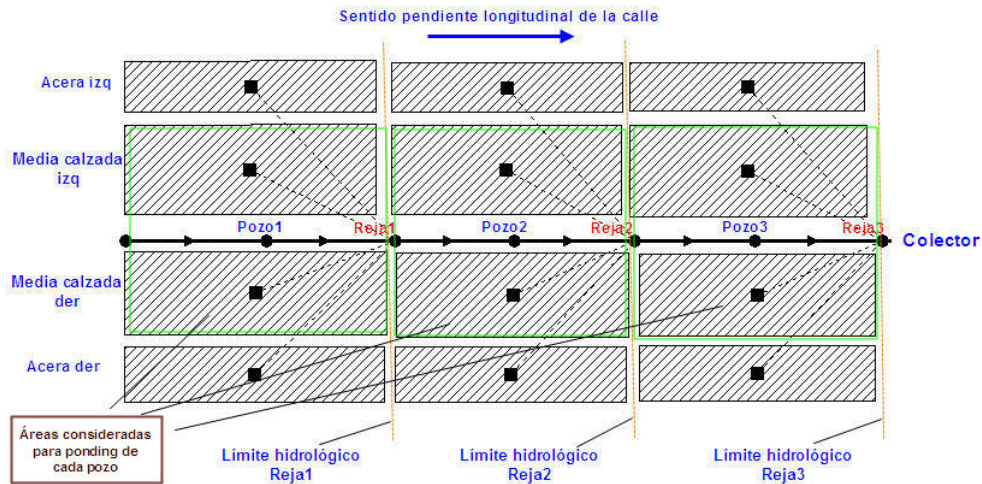


Figura 7 Esquema de modelación utilizado en el enfoque tradicional

Por otro lado, en el enfoque dual no se debe perder flujo por ningún nodo del esquema de modelación; es decir, no se puede producir *flooding*. Bajo este enfoque se han realizado diversas simulaciones, con diferentes opciones de conexión para representar las rejillas y los pozos. En el caso de la doble conexión, utilizando un objeto *outlet*, se ha realizado un estudio de eficiencia hidráulica de la reja, de acuerdo a la metodología desarrollada por la UPC (Gómez, 2006), determinando así los valores de caudal captado y calado aguas arriba de la reja. La figura 8 muestra el esquema de EPA SWMM 5.0 del ejemplo a desarrollar bajo este enfoque.

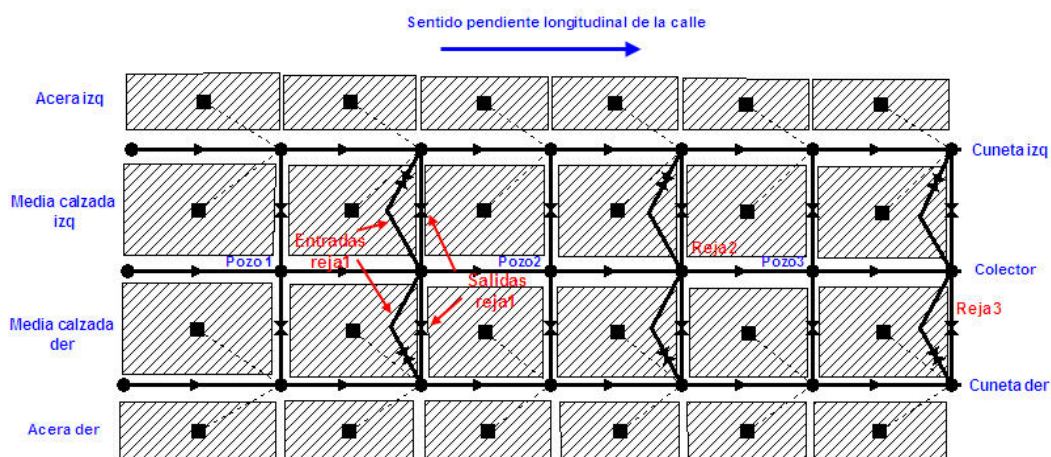


Figura 8 Esquema de modelación utilizado en el enfoque dual. Caso de doble conexión en rejillas (vista en planta)

4 Resultados

En la siguiente figura se observan los hidrogramas de entrada al colector a través de cada reja (figura 9a) y los hidrogramas de salida de flujo hacia la calles a través de los pozos P1, P2 y P3 (figura 9b), según el enfoque tradicional.

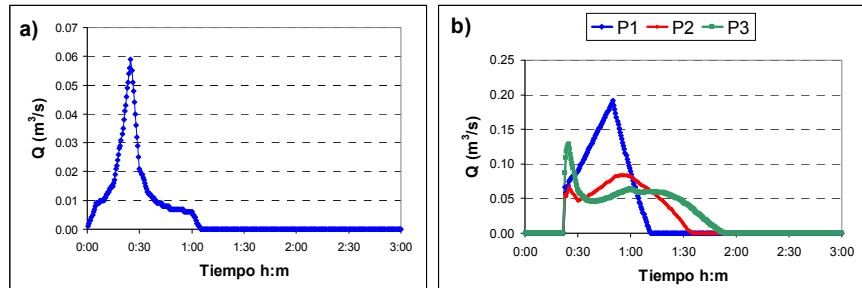


Figura 9 Hidrogramas de a) entrada al colector en cada reja, y b) salida hacia la calle a través de los pozos

Bajo el mismo enfoque, la siguiente figura muestra los niveles piezométricos en cada nodo-pozo, indicando la cota de tapa (línea de color naranja) y la cota de salida de flujo (línea de color azul).

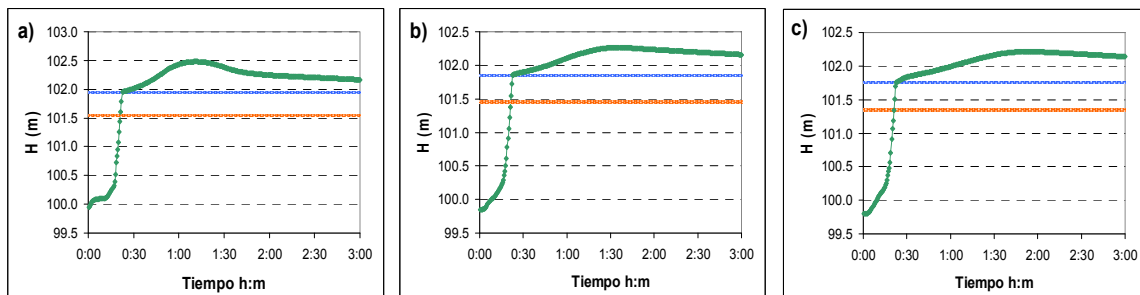


Figura 10 Niveles piezométricos en a) Pozo1, b) Pozo2, y c) Pozo3, según enfoque tradicional

La siguiente figura muestra los niveles piezométricos en los nodos extremos de las rejillas, de algunas de las simulaciones realizadas bajo el enfoque dual. La línea color naranja representa la cota de la reja.

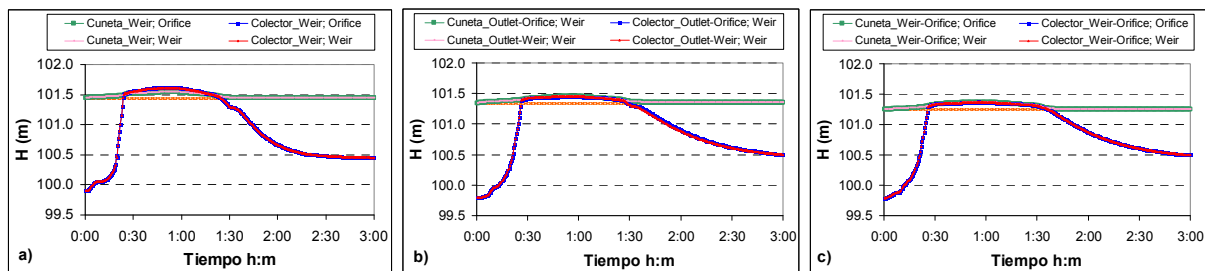


Figura 11 Niveles piezométricos en nodos extremos de a) Reja 1, b) Reja 2, y c) Reja 3

En las siguientes figuras se muestra los hidrogramas en cada reja, para todas las simulaciones realizadas (ver figura 12), y el hidrograma del flujo de salida en el pozo1 (ver figura 13), considerando conexión simple y doble conexión en el enfoque dual.

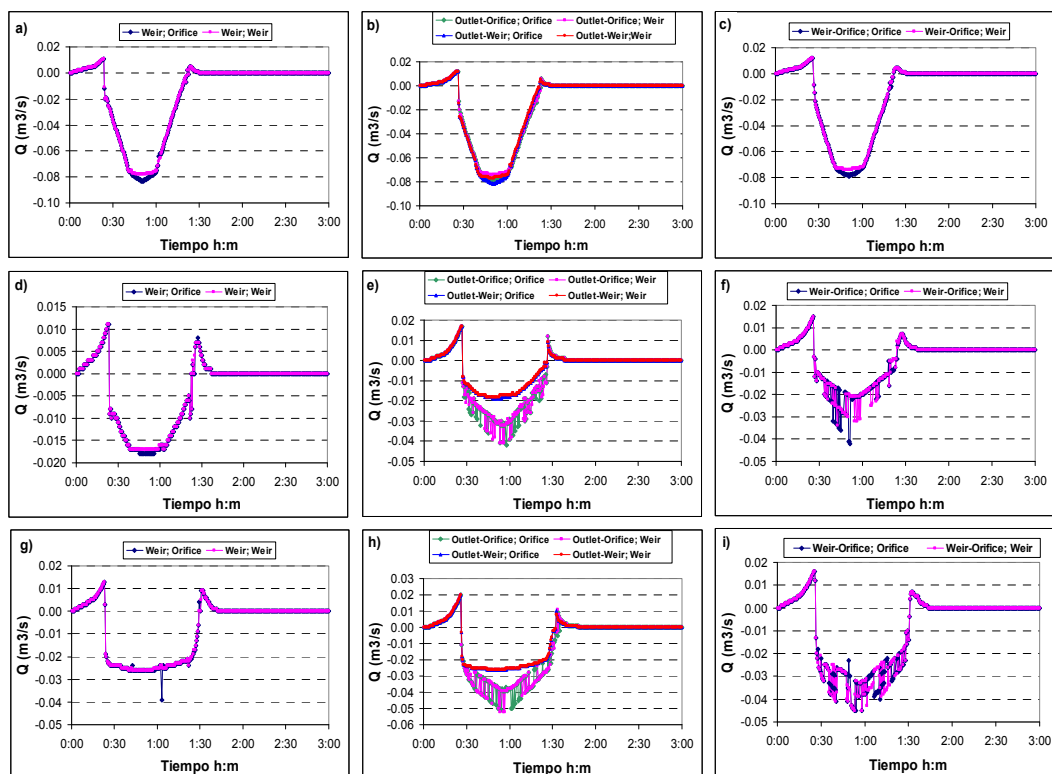


Figura 12 Hidrogramas en la reja 1 (figuras a, b, c), reja 2 (figuras d, e, f), y reja 3 (figuras g, h, i), para diferentes combinaciones de objetos reguladores

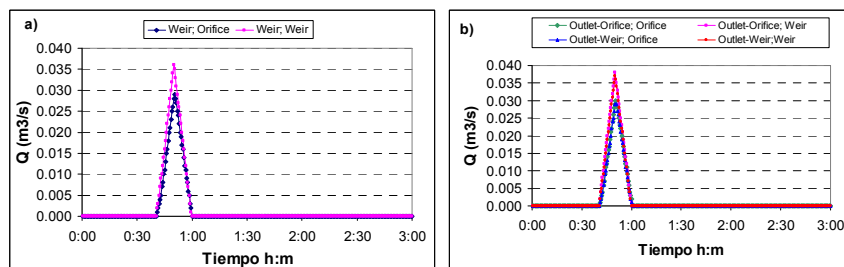


Figura 13 Hidrogramas de salida por el pozo1, en conexión simple (a), y en conexión doble (b)

La figura 14 muestra algunos de los resultados, bajo enfoque dual, de los niveles piezométricos en los nodos extremos de los reguladores para los tres pozos. La línea horizontal color naranja representa la cota de la tapa del pozo, y la línea marrón la cota de vertido hacia la calle.

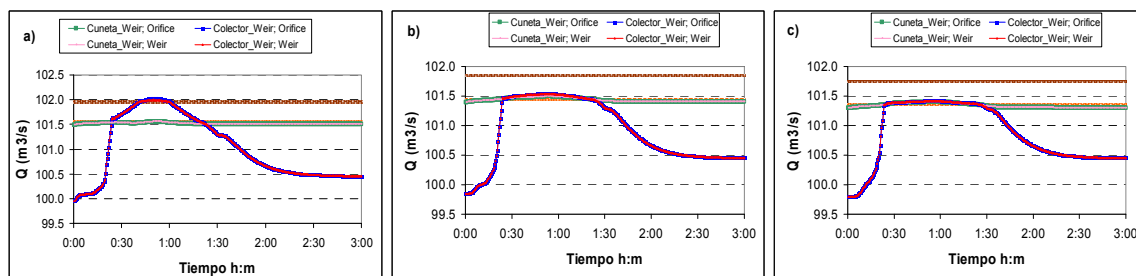


Figura 14 Niveles piezométricos en nodos extremos del objeto regulador para el a) pozo1, b) pozo2, y c) pozo3

5 Análisis y Conclusiones

Los resultados vistos muestran claras diferencias entre los dos enfoques aplicados. Estas diferencias se traducen, fundamentalmente, en términos de caudal de entrada al colector y el caudal de salida hacia la calle. Al comparar las figuras 9 y 12, se observa que el enfoque tradicional considera caudales mayores de entrada al colector ($Q_{\text{punta}} = 0.06 \text{ m}^3/\text{s}$) en relación a los que el enfoque dual determina ($Q_{\text{punta}} = 0.02 \text{ m}^3/\text{s}$), pues el primer enfoque considera que toda la escorrentía entra a la red, obviando la variabilidad de la capacidad de captación de las rejillas. Por otro lado, los hidrogramas de la figura 9b sólo nos entregan la variación del caudal de salida en cada pozo, no pudiendo obtener alguna relación con los flujos que circulan por las cunetas y no conociendo el hidrograma que entra nuevamente al colector; en cambio, la figura 12 muestran el comportamiento bidireccional del flujo en las rejillas, observando que las rejillas captan escorrentía desde $t = 2$ minutos hasta $t = 30$ minutos, y luego comienza a salir flujo hacia la calle hasta $t = 90$ minutos aproximadamente, para luego volver a captar escorrentía desde la calle hacia el colector. Sin embargo, es posible afirmar que ambos enfoques son coherentes en términos de la variación de nivel piezométrico respecto a los caudales de entrada/salida que se producen. Por ejemplo, en el enfoque tradicional la figura 10 muestra que los instantes donde se alcanza el nivel de desagüe en los pozos, coincide con los instantes donde comienza la salida de flujo a través de éstos de acuerdo a la figura 9b. En el enfoque dual, independiente si la representación de la rejilla es simple o doble, las figuras 11 y 12, y las figuras 13 y 14 también muestran esa coherencia respecto al flujo que se produce. Obsérvese que la figura 14a indica que el nivel piezométrico en el pozo1 sobrepasa el nivel de desagüe, produciendo el hidrograma de la figura 13. Al mismo tiempo, las figuras 14b y 14c muestran que el nivel piezométrico en los pozos 2 y 3, respectivamente, están por debajo de la cota de desagüe. Por otro lado, algunos hidrogramas resultantes en las rejillas 2 y 3, bajo el enfoque dual con doble conexión, presentan unas bruscas variaciones, tal como se puede observar en la figura 12. Estas variaciones ocurren cuando se utiliza un objeto tipo orificio para la salida de flujo (hidrogramas en verde y rosa en figuras 12e y 12h, y figuras 12f y 12i), pues este objeto considera toda el área de desagüe para el cálculo del caudal. Sin embargo, en las rejillas 2 y 3 los niveles piezométricos en los nodos adyacentes (nodo de cuneta y nodo de colector) presentan pequeñas diferencias (ver figuras 11b y 11c), lo que produce poca carga neta sobre el orificio, comportándose más bien como un vertedero sumergido. El hecho de que no se produzcan estas inestabilidades en la rejilla 1 (ver figura 12a, 12b, y 12c), es porque los niveles piezométricos en sus nodos adyacentes presentan una mayor diferencia entre sí (ver figura 11a).

Analizados los resultados, se puede afirmar que el enfoque tradicional no es el más adecuado para simular la inundación superficial, pues no incluye, explícitamente en el modelo, a la calle como red de drenaje. Esto implica que se están obviando la propagación de flujo en la calle, la interacción de flujos entre ésta y la red de alcantarillado, y los cambios que se producen en los niveles de la lámina de agua en la calle. Sin embargo, este enfoque podría ser utilizado como una primera aproximación a los niveles de inundación en superficie en zonas donde el agua no circularía demasiado en superficie. Por otro lado, la modelación de un sistema de drenaje dual con EPA SWMM 5.0 pasa por representar una red con objetos que representan la calle y otros que representan el colector, además de objetos reguladores que representan el intercambio de flujo que se produce entre ellos (enfoque dual). Este enfoque requiere de mayor esfuerzo al momento de representar el sistema calle + sistema de captación + colector, pues la cantidad de objetos a utilizar es mayor en comparación al enfoque tradicional. Sin embargo, el enfoque dual entrega un mayor grado de aproximación al comportamiento hidráulico del medio urbano, pues considera el movimiento simultáneo del flujo en calles como en redes de alcantarillado y el intercambio de flujo en elementos del sistema de captación y en los pozos de registro.

6 Referencias bibliográficas

- Djordjević, S., Prodanović, D., Maksimović, Č., Ivetić, M. and Savić, D. (2004) “*SIPSON – Simulation of Interaction between Pipe flow and Surface Overland flow in Networks*.” International Conference on Urban Drainage Modelling, Dresden 2004.
- Gómez, M. (2006). “*Curso de Hidrología Urbana, 6^a edición*.” Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.
- Leandro, J., Chen, A., Djordjević, S., and Savić, D. (2009) “*Comparison of 1D/1D and 1D/2D Coupled (Sewer/Surface) Hydraulic Models for Urban Flood Simulation*.” Journal of Hydraulic Engineering, Vol.135, No 6.
- Rossman, L. (2006) “*Storm Water Management Model Quality Assurance Report: Dynamic Wave Flow Routing*.” National Risk Management Research Laboratory, Environmental Protection Agency, Cincinnati